

#3  
RUB  
5-12-02  
Jc972 U.S. PTO  
10/024719  
12/21/01

612.40914X00

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): REY-FABRET, et al.  
Serial No.: Not yet assigned  
Filed: December 21, 2001  
Title: METHOD FOR FORMING AN OPTIMIZED NEURAL NETWORK  
MODULE INTENDED TO SIMULATE THE FLOW MODE OF A  
MULTIPHASE FLUID STREAM  
Group: Not yet assigned

LETTER CLAIMING RIGHT OF PRIORITY

Honorable Commissioner of  
Patents and Trademarks  
Washington, D.C. 20231

December 21, 2001

Sir:

Under the provisions of 35 USC 119 and 37 CFR 1.55, the applicant(s) hereby  
claim(s) the right of priority based on French Patent Application No.(s) EN.00/16878,  
filed December 22, 2000.

A certified copy of said French Application is attached.

Respectfully submitted,

ANTONELLI, TERRY, STOUT & KRAUS, LLP

---

Donald E. Stout  
Registration No. 26,422

DES/alb  
Attachment  
(703) 312-6600



Jc972 U.S. PTO  
10/024719  
12/21/01

# BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

## COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

31 OCT. 2001

Fait à Paris, le

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE



INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

# BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11354\*01

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 W / 260899

<b>2 DEC 2000</b> 75 INPI PARIS		<b>1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE	
N° D'ENREGISTREMENT <b>0016878</b> NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI <b>22 DEC 2000</b>		INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE DEPARTEMENT-BREVETS 1 & 4 Avenue de Bois Préau 92852 RUEIL MALMAISON CEDEX FRANCE	
V s références pour ce dossier (facultatif) JC/MB/neurhydro			
Confirmation d'un dépôt par télécopie <input type="checkbox"/> - N° attribué par l'INPI à la télécopie			
<b>2 NATURE DE LA DEMANDE</b>		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale ou demande de certificat d'utilité initiale		N° _____ Date ____/____/____ N° _____ Date ____/____/____	
Transformation d'une demande de brevet européen Demande de brevet initiale		<input type="checkbox"/> N° _____ Date ____/____/____	
<b>3 TITRE DE L'INVENTION</b> (200 caractères ou espaces maximum) METHODE POUR FORMER UN MODULE A RESEAUX NEURONAUX OPTIMISE, DESTINE A SIMULER LE MODE D'ECOULEMENT D'UNE VEINE DE FLUIDES POLYPHASIQUES			
<b>4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ</b> OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ <input checked="" type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé « Suite »	
<b>5 DEMANDEUR</b>		<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé « Suite »	
Nom ou dénomination sociale		INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE	
Prénoms			
Forme juridique		Organisme Professionnel	
N° SIREN			
Code APE-NAF			
Adresse	Rue	1 & 4 Avenue de Bois Préau	
	Code postal et ville	92852	RUEIL MALMAISON CEDEX
Pays		FRANCE	
Nationalité		Française	
N° de téléphone (facultatif)		01 47.52.60.00	
N° de télécopie (facultatif)		01 47.52.70.03	
Adresse électronique (facultatif)			

22 DEC 2000		Réserve à l'INPI	
REMISE DES PIÈCES DATE		75 INPI PARIS	
LIEU		0016878	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		DB 540 W / 260899	
Vos références pour ce dossier : (facultatif)		JC/MB/neurhydro	
<b>6 MANDATAIRE</b>			
Nom		ELMALEH	
Prénom		Alfred	
Cabinet ou Société		INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE	
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel			
Adresse	Rue	1 & 4 Avenue de Bois Préau	
	Code postal et ville	92852	RUEIL MALMAISON CEDEX FRANCE
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			
<b>7 INVENTEUR (S)</b>			
Les inventeurs sont les demandeurs		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée	
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b>		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformati n)	
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance		Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
<b>9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt (joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence) :	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes			
<b>10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire)  Alfred ELMALEH Chef du Département Brevets		<b>VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI</b>  M. MARTIN	

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg

75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1. / 2..

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 260899

<b>V s références pour ce dossier</b> (facultatif)		JC/MB/neurhydro	
<b>N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL</b>		00 16 8 7 8	
<b>TITRE DE L'INVENTION</b> (200 caractères ou espaces maximum)			
METHODE POUR FORMER UN MODULE A RESEAUX NEURONAUX OPTIMISE, DESTINE A SIMULER LE MODE D'ECOULEMENT D'UNE VEINE DE FLUIDES POLYPHASIQUES			
<b>LE(S) DEMANDEUR(S) :</b>			
Alfred ELMALEH Chef du Département Brevets INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE 1 & 4, Avenue de Bois Préau 92852 RUEIL MALMAISON CEDEX			
<b>DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :</b> (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
<b>Nom</b>		REY-FABRET	
<b>Prénoms</b>		Isabelle	
<b>Adresse</b>	<b>Rue</b>	48, rue Champ Lagarde	
	<b>Code postal et ville</b>	78000 VERSAILLES	
<b>Société d'appartenance</b> (facultatif)			
<b>Nom</b>		DURET	
<b>Prénoms</b>		Emmanuel	
<b>Adresse</b>	<b>Rue</b>	8 rue Isabey	
	<b>Code postal et ville</b>	92500 RUEIL MALMAISON	
<b>Société d'appartenance</b> (facultatif)			
<b>Nom</b>		HEINTZE	
<b>Prénoms</b>		Eric	
<b>Adresse</b>	<b>Rue</b>	3, rue du Progrès	
	<b>Code postal et ville</b>	92190 MEUDON	
<b>Société d'appartenance</b> (facultatif)			
<b>DATE ET SIGNATURE(S)</b> <b>DU (DES) DEMANDEUR(S)</b> <b>OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire )			
Alfred ELMALEH Chef du Département Brevets			

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 2. / 2.

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 260899

<b>V s r 'férences pour ce dossier</b> (facultatif)		JC/MB/neurhydro	
<b>N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL</b>			
<b>TITRE DE L'INVENTION</b> (200 caractères ou espaces maximum)			
METHODE POUR FORMER UN MODULE A RESEAUX NEURONAUX OPTIMISE, DESTINE A SIMULER LE MODE D'ECOULEMENT D'UNE VEINE DE FLUIDES POLYPHASIQUES			
<b>LE(S) DEMANDEUR(S) :</b>			
Alfred ELMALEH Chef du Département Brevets INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE 1 & 4, Avenue de Bois Préau 92852 RUEIL MALMAISON CEDEX			
<b>DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :</b> (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
<b>Nom</b>		HENRIOT	
<b>Prénoms</b>		Véronique	
<b>Adresse</b>	<b>Rue</b>	22, rue Molière	
	<b>Code postal et ville</b>	92500	RUEIL MALMAISON
<b>Société d'appartenance (facultatif)</b>			
<b>Nom</b>			
<b>Prénoms</b>			
<b>Adresse</b>	<b>Rue</b>		
	<b>Code postal et ville</b>		
<b>Société d'appartenance (facultatif)</b>			
<b>Nom</b>			
<b>Prénoms</b>			
<b>Adresse</b>	<b>Rue</b>		
	<b>Code postal et ville</b>		
<b>Société d'appartenance (facultatif)</b>			
<b>DATE ET SIGNATURE(S)</b> <b>DU (DES) DEMANDEUR(S)</b> <b>OU DU MANDATAIRE</b> (Nom t qualif ' du signataire)			
Alfred ELMALEH Chef du Département Brevets			

La présente invention a pour objet une méthode pour former un module à réseaux  
5 neuronaux, destiné à simuler en temps réel le mode d'écoulement en tout point d'une  
conduite, d'une veine de fluide polyphasique comprenant au moins une phase liquide et au  
moins une phase gazeuse, qui soit le mieux adaptée à des conditions opératoires et à un  
ensemble de grandeurs physiques fixées

### Etat de la technique

10 L'acheminement des hydrocarbures depuis les sites de production jusqu'aux unités  
de traitement constitue un maillon important de la chaîne pétrolière. C'est un maillon  
délicat en raison de la complexité des interactions entre les phases constituant les effluents  
transportés. Les opérateurs ont pour objectif premier d'atteindre une productivité optimale  
dans les meilleures conditions de sécurité. Ils doivent donc gérer au mieux la vitesse et la  
15 température pour éviter des pertes de charges superflues, des dépôts indésirables et des  
irrégularités d'écoulement. La méthode généralement utilisée consiste à modéliser au  
mieux le transport de flux polyphasiques complexes de façon à fournir à chaque instant une  
image des écoulements dans les différentes parties de la chaîne de production, tenant  
compte de la constitution précise de l'effluent, les débits et pressions et les modes  
20 d'écoulement.

Il existe actuellement différents modules logiciels de simulation du transport de flux  
polyphasiques complexes, permettant à une stade précoce de concevoir des équipements de  
production adaptés.

Par les brevets US 5 550 761, FR 2 756 044 (US 6 028 992) et FR 2 756 045 (US 5  
25 960 187) du demandeur, notamment, on connaît des modules de modélisation formant le  
modèle TACITE connu des gens de métier, permettant de simuler le transport de flux  
polyphasiques complexes en régime permanent ou transitoire et capables de prendre en  
compte des phénomènes d'instabilité qui se produisent du fait de la géométrie irrégulière

du terrain où passe la conduite ou de la topographie de celle-ci, que les spécialistes désignent par « terrain slugging » ou « severe slugging ».

La complexité des modules de simulation est à l'image de celle des phénomènes modélisés. Précision et performances ne peuvent être obtenues qu'après un temps de modélisation relativement important qui s'avère difficilement compatible avec une gestion en temps réel. C'est pourquoi ces modules de modélisation ne peuvent en l'état servir à la gestion en temps réel de la production. Dans cette optique, il est ainsi apparu nécessaire de mettre en œuvre des méthodes de modélisation permettant un bon compromis entre rapidité de calcul et précision des résultats.

Par la demande de brevet FR 00/09.889 du demandeur, on connaît une méthode pour estimer en temps réel le mode d'écoulement en tout point d'une conduite de structure que l'on peut définir par un certain nombre de paramètres de structure, d'une veine de fluide polyphasique définie par plusieurs grandeurs physiques et comprenant des phases liquides et gazeuses. Suivant cette méthode, on réalise une modélisation du mode d'écoulement :

- en formant un réseau neuronal non linéaire avec une couche d'entrée avec autant d'entrées que de paramètres de structure et de grandeurs physiques nécessaires à une bonne estimation de la sortie, une couche de sortie avec autant de sorties que de grandeurs nécessaires à l'estimation du mode d'écoulement et au moins une couche intermédiaire ;

- en constituant une base d'apprentissage avec des tables prédéfinies reliant différentes valeurs obtenues pour les données de sortie aux valeurs correspondantes des données d'entrée ; et

- en déterminant par itérations des facteurs de pondération de la fonction d'activation permettant de relier correctement les valeurs dans les tables des données d'entrée et de sortie.

De préférence, on analyse des données de sortie des neurones de façon à trier, parmi les valeurs des données de sortie du réseau de neurones, les seules données pertinentes à prendre en compte dans la détermination itérative des coefficients de pondération de la fonction d'activation.



## La méthode selon l'invention

- La méthode selon l'invention permet de construire un module (hydrodynamique ou thermodynamique par exemple) destiné à simuler en temps réel le mode d'écoulement en tout point d'une conduite, d'une veine de fluide polyphasique comprenant au moins une phase liquide et au moins une phase gazeuse, de façon qu'il soit le mieux adapté à des conditions opératoires fixées portant sur un certain nombre de paramètres structurels et physiques définis relatifs à la conduite, et sur un ensemble de grandeurs physiques définies (grandeurs hydrodynamiques ou thermodynamiques par exemple), avec des gammes de variation fixées pour les paramètres et les grandeurs physiques.

Elle comporte l'utilisation d'un système de modélisation constitué à base de réseaux neuronaux non linéaires avec chacun des entrées pour des paramètres de structure et des grandeurs physiques, et des sorties où sont disponibles des grandeurs nécessaires à l'estimation du mode d'écoulement, et au moins une couche intermédiaire. Les réseaux neuronaux sont déterminés itérativement pour s'ajuster aux valeurs d'une base d'apprentissage avec des tables prédéfinies reliant différentes valeurs obtenues pour les données de sortie aux valeurs correspondantes des données d'entrée.

- La méthode se caractérise en ce que l'on forme une base d'apprentissage adaptée aux conditions opératoires imposées et on génère des réseaux neuronaux optimisés s'ajustant au mieux aux conditions opératoires imposées.

Dans le cas, par exemple, où le module doit être intégré à un modèle général à la fois hydrodynamique et thermodynamique de simulation d'écoulements polyphasiques, on utilise le modèle pour former la base d'apprentissage, de manière à sélectionner l'ensemble de grandeurs physiques le mieux adapté au fonctionnement du modèle, ainsi que les gammes de variation fixées pour les dits paramètres et les dites grandeurs physiques, et l'on génère les réseaux neuronaux optimisés s'ajustant au mieux à la base d'apprentissage formée.

## DESCRIPTION DETAILLEE

### Généralités sur la formation du système de réseaux

On considère une circulation de fluides polyphasiques dans une conduite avec au moins une phase liquide et au moins une phase gazeuse et l'on cherche à construire un système neuronal permettant, à partir d'un certain nombre de données d'entrée géométriques et physiques relatives à la conduite et de données physiques sur les fluides, de donner à chaque instant et pour chaque section de la veine fluide une estimation du mode d'écoulement, ou bien, à partir d'un certain nombre de données liées aux conditions de pression et de température sous lesquelles se trouve le fluide, et à la composition du fluide, de donner le comportement thermodynamique du fluide. L'ensemble de ces données d'entrée constitue une base de données.

#### 1) entrées et sorties

Les données d'entrée sont par exemple :

- des données géométriques et physiques des conduites : diamètre, rugosité et angle d'inclinaison du conduit, et des données thermodynamiques : masse volumique de gaz, masse volumique de liquide, viscosité du gaz, viscosité du liquide, etc. ; l'ensemble de ces données constituant un n-uplet ; et

- des données hydrodynamiques caractérisant le mélange : tension superficielle gaz/liquide, fraction volumique de gaz, vitesse barycentrique du mélange, etc.

ou bien :

- des données thermodynamiques relatives à l'environnement du fluide : pression, température, l'ensemble de ces données constituant un n-uplet, ainsi que des données caractérisant la composition du mélange : masse molaire, propriétés critiques, coefficients d'enthalpie, etc.

Le modèle produit par exemple en sortie le comportement hydrodynamique des effluents, et, notamment, le régime d'écoulement. Il évalue et délivre sur deux sorties principales des données hydrodynamiques dans la partie de conduite dont on souhaite déterminer le type d'écoulement, la différence  $dV$  de vitesse entre gaz et liquide par exemple, ou la fraction  $\beta$  ( $\beta \in [0 ; 1]$ ) d'écoulement de type stratifié (type où la phase liquide s'écoule dans la partie inférieure de la conduite). D'autres grandeurs qualifiant le type d'écoulement peuvent être calculées à partir de ces deux sorties.

Dans les applications à la thermodynamique, le modèle produit en sortie les grandeurs thermodynamiques des effluents, comme, par exemple, le nombre et la nature des phases en présence ou les fractions molaires des phases.

## 2) Structure du système de réseaux

La fonction que doit modéliser le modèle hydrodynamique ou thermodynamique fait appel à différentes sous-fonctions que l'on peut résoudre en utilisant si nécessaire plusieurs réseaux dont le rôle au sein du modèle est bien défini. Par exemple, un réseau peut être dédié à la régression de fonction non-linéaire, alors qu'un autre réseau sera dédié à la classification de différents régimes d'écoulements. Par ailleurs, les liens à établir entre réseaux ou entre le module et son environnement extérieur, peuvent nécessiter des traitements de données complémentaires (normalisation des données, dénormalisation, etc.). Ainsi, on parlera par la suite de système basé sur des réseaux de neurones.

Pour relier entre elles toutes les données hydrodynamiques ou thermodynamiques d'entrée et de sortie, on construit un système de réseaux de neurones, ces réseaux étant de préférence de type MLP bien connu des gens de l'art, car il est particulièrement bien adapté à la modélisation de phénomènes physiques. Sa structure permet de décrire tout à la fois les composantes dynamiques et statiques des phénomènes, en fixant même si nécessaire certains de ses paramètres à une valeur réifiée, et donc physiquement représentative. Ainsi, la connaissance d'équations physiques régissant les écoulements permet par exemple d'enrichir le réseau et de l'adapter au mieux aux phénomènes physiques qu'il modélise.

Le réseau de neurones comporte (Fig-1) par exemple trois couches : la couche d'entrée composée de dix neurones correspondant aux dix données (citées ci-dessus) du modèle physique complet, une couche de sortie de deux neurones correspondant aux deux paramètres recherchés  $dV$  et  $\beta$ , et une couche intermédiaire, dite couche cachée, dont le nombre de neurones  $N_c$  est optimisé. Le réseau est totalement connecté. La non linéarité de ce réseau est obtenue par une fonction d'activation sigmoïde régissant le comportement des neurones de la couche cachée. Les neurones de la couche de sortie peuvent être choisis linéaires ou non-linéaires. La fonction d'activation peut être par exemple la fonction identité.

### 3) Apprentissage

Les poids de cette structure sont déterminés à l'issue d'une phase d'apprentissage ; au cours de cette phase, on nourrit le réseau d'un ensemble de données constituant la base d'apprentissage du réseau, et on optimise la structure et les poids du réseau en minimisant des erreurs constatées pour l'ensemble des échantillons de la base, entre les données de sortie issues du calcul du réseau et les données attendues à la sortie, données par la base. Les erreurs peuvent être les erreurs absolues entre les grandeurs d'entrée et de sortie ou les erreurs relatives, selon la performance désirée pour le réseau.

Les facultés de généralisation du réseau sont ensuite testées sur sa capacité à bien calculer les deux sorties pour des entrées qui lui sont inconnues.

#### Particularités de mise en œuvre

Le système basé sur des réseaux de neurones modélisant le module hydrodynamique ou le module thermodynamique est défini par un ensemble de paramètres que la phase d'apprentissage permet de déterminer et de fixer. Ces paramètres sont adaptables aux contraintes fixées par l'utilisation à laquelle est dédié ce module.

- Si le module est destiné à une utilisation dans un cadre général, la base d'apprentissage utilisée doit être exhaustive c'est-à-dire inclure toutes les données disponibles concernant les différentes entrées/sorties ; le module est ainsi apte à représenter l'ensemble des cas que l'on peut rencontrer sur terrain.

- Si le module est destiné à être utilisé dans un cadre ou un contexte plus spécialisé, la production d'un champ pétrolier par exemple, le calage est effectué sur une base d'apprentissage plus restreinte contenant seulement l'ensemble des données que l'on peut rencontrer sur ce champ uniquement : type ou structure des conduites ou pipelines, variations topographiques, gammes plus restreintes de variation de certaines grandeurs hydrodynamiques ou thermodynamiques, etc. Les paramètres des réseaux neuronaux sont dans un tel cas calculés de manière à obtenir un produit spécifique à une configuration donnée, de façon à représenter au mieux les écoulements dans des gammes opératoires propres à ce champ.

Ainsi, ce module est adaptable aux différents objectifs fixant son utilisation.

## Environnement du module à réseaux neuronaux

Le module développé peut être utilisé seul, sans autres modules associés. Dans ce cas, il est calé sur des bases de données constituées en fonction de l'utilisation désirée, selon que le cadre est général ou spécifique. Il est indépendant et permet d'estimer les grandeurs hydrodynamiques ou thermodynamiques susceptibles de permettre le suivi du comportement des écoulements d'effluents dans les pipelines, à partir d'une base d'apprentissage regroupant des données de grandeurs physiques et thermodynamiques fournies par ailleurs.

Le module peut également être implémenté dans tout modèle (ensemble de modules logiciels de simulation capables de simuler le comportement transitoire et/ou stationnaire des écoulements polyphasiques, tel que, par exemple, le modèle TACITE déjà cité. Dans ce tel cas, le module est calé sur des modèles de référence représentant l'état de l'art actuel, et sur des bases de données associées couvrant largement l'ensemble du domaine de définition du n-uplet que forment les données d'entrées. Son calage tient ainsi compte des spécificités de l'environnement logiciel dans lequel il est amené à s'intégrer.

Pour former la base d'apprentissage la mieux adaptée au modèle ou le système de neurones doit être intégré, on utilise avantageusement le modèle pour relier entre elles les données d'entrée et de sortie.

## Exemples d'utilisation

Le module à base de réseaux neuronaux convient pour toute application nécessitant une représentation hydrodynamique d'effluents : réalisation de codes de simulation prédictifs d'écoulements, de simulation temps réel ou de simulations d'entraînement, etc. Les méthodes de contrôle actif en production peuvent aussi se baser sur un tel module.

## Exemples d'optimisation

On considère par exemple le cas où il s'agit d'optimiser un réseau donnant la classification du type d'écoulement de fluides polyphasiques : écoulement de type stratifié ou de classe C1 (définie plus haut), écoulement de type intermittent ou de classe C2 (caractérisé par une succession de bouchons liquides et gazeux), ou bien encore de type

dispersé ou de classe C3 (le liquide étant entraîné sous forme de fines gouttelettes), en fonction d'entrées comme décrit au paragraphe « Généralités sur la formation du réseau ».

Dans un premier temps, on forme un réseau neuronal à l'aide d'une base générale. La structure optimale résultante que l'on obtient comporte 30 neurones, avec une seule couche cachée. La table de confusion du réseau obtenu (Fig.2) exprime le pourcentage de classification obtenu dans les trois classes de sortie du réseau pour chaque classe de la base de données.

Dans un second temps, on restreint la base de données utilisée en apprentissage à quelques configurations particulières, qui diminuent les plages de variation des différentes entrées du réseau. Le réseau neuronal optimal est dans ce cas constitué de 28 neurones et comporte une seule couche cachée. Le résultat de classification est matérialisé par la table de confusion de la Fig.3.

On vérifie immédiatement que les résultats de bonne classification, répartis sur la diagonale, sont bien améliorés par rapport au cas précédent formé au moyen d'une base moins sélective et moins adaptée à la configuration où le module doit fonctionner.

Ainsi, une adaptation de la base de données aux conditions d'utilisation permet de modifier d'une part la structure du réseau, d'autre part d'optimiser les résultats de généralisation obtenus.

## REVENDECATIONS

• 1) Méthode pour former un module destiné à simuler en temps réel le mode d'écoulement en tout point d'une conduite, d'une veine de fluide polyphasique comprenant au moins une phase liquide et au moins une phase gazeuse, de façon qu'il soit le mieux adapté à des conditions opératoires fixées portant sur un certain nombre de paramètres structurels définis relatifs à la conduite, et sur un ensemble de grandeurs physiques définies, avec des gammes de variation fixées pour les dits paramètres et les dites grandeurs physiques, au moyen d'un système de modélisation constitué à base de réseaux neuronaux non linéaires avec chacun des entrées pour des paramètres de structure et des grandeurs physiques, et des sorties où sont disponibles des grandeurs nécessaires à l'estimation du mode d'écoulement, et au moins une couche intermédiaire, les réseaux neuronaux étant déterminés itérativement pour s'ajuster aux valeurs d'une base d'apprentissage avec des tables prédéfinies reliant différentes valeurs obtenues pour les données de sortie aux valeurs correspondantes des données d'entrée, caractérisée en ce que l'on forme une base d'apprentissage adaptée aux conditions opératoires imposées et on génère des réseaux neuronaux optimisés s'ajustant au mieux aux conditions opératoires imposées.

• 2) Méthode selon la revendication 1, caractérisée en ce que l'ensemble de grandeurs physiques est constitué de grandeurs hydrodynamiques.

• 3) Méthode selon la revendication 1, caractérisée en ce que l'ensemble de grandeurs physiques est constitué de grandeurs thermodynamiques.

• 4) Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que, le dit module étant intégré à un modèle général à la fois hydrodynamique et thermodynamique de simulation d'écoulements polyphasiques, on utilise le dit modèle pour former la base d'apprentissage, de manière à sélectionner l'ensemble de grandeurs physiques le mieux adapté au fonctionnement du modèle, ainsi que les gammes de variation fixées pour les dits paramètres et les dites grandeurs physiques, et l'on génère les réseaux neuronaux optimisés s'ajustant au mieux à la base d'apprentissage formée.

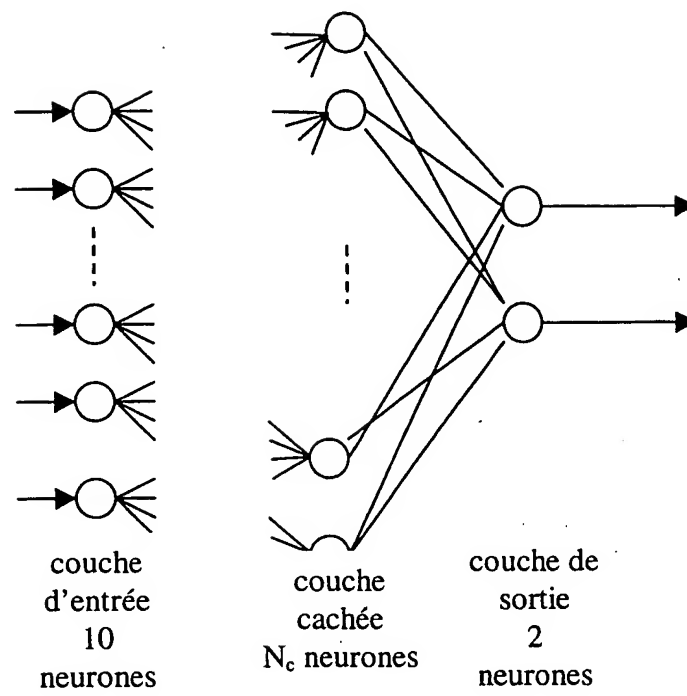


Fig.1



DONNEES	ESTIMATION			
	$C1=(\beta=0)$	$C2=(0<\beta<1)$	$C3=(\beta=1)$	
$C1=(\beta=0)$	87.3%	10.7%	2%	100 %
$C2=(0<\beta<1)$	3.1%	81.5%	15.4%	100 %
$C3=(\beta=1)$	0.2%	4.8%	95%	100 %

Fig.2

DONNEES	ESTIMATION			
	$C1=(\beta=0)$	$C2=(0<\beta<1)$	$C3=(\beta=1)$	
$C1=(\beta=0)$	99.49%	0.5%	0.01%	100 %
$C2=(0<\beta<1)$	1%	98.3%	0.7%	100 %
$C3=(\beta=1)$	0.05%	2.9%	97%	100 %

Fig.3

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIETE INDUSTRIELLE